

### **BAB III**

#### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. Teori Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726:2012**

##### **3.1.1. Gempa Rencana**

Berdasarkan pasal 4.1.1 gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Akibat adanya pengaruh gempa rencana, apabila terjadi gempa dan bangunan sudah diambang keruntuhan maka struktur gedung secara keseluruhan masih dapat berdiri.

##### **3.1.2. $S_{DS}$ dan $S_{D1}$**

$S_{DS}$  merupakan parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek dan  $S_{D1}$  merupakan parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik. Kedua parameter ini di dapatkan dari *software* Desain Spektra Indonesia di [http://puskim.pu.co.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_11/](http://puskim.pu.co.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_11/).

##### **3.1.3. Klasifikasi Situs**

Klasifikasi situs bertujuan untuk memberikan kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Penetapan kelas situs ini harus melalui penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium. Tipe kelas situs harus ditetapkan sesuai dengan definisi dari tabel dan pasal-pasal berikut ini :

Tabel 3.1 Klasifikasi Situs

Kelas situs	Vs (m/detik)	N atau N <sub>ch</sub>	S <sub>u</sub> (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :		
	1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralisir $S_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut yaitu: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ )  Lapisan tanah lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Catatan : N/A = tidak dapat di pakai

(Sumber : Tabel 3 - SNI 1726: 2012, hal 17)

### 3.1.4. Kategori Risiko

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.2 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.6.

Tabel 3.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non-gedung untuk beban gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatas untuk, antara lain : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, tapi tidak dibatasi untuk ; <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	

Tabel 3.2 (Lanjutan)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	III
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangun-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin, badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau mineral atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk operasi pada saat keadaan darurat.</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

(Sumber : Tabel 1-SNI 1726:2012, hal 14-15)

### 3.1.5. Katergori Desain Seismik = KDS

Kategori desain seismik diperkenankan untuk ditentukan dari tabel 3.3 dan tabel 3.4 dengan menggunakan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Berikut ini tabel KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan tabel KDS berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) :

Tabel 3.3 Kategori desain seismik berdasarkan nilai  $S_{DS}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	B
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	C
$0,5 \leq S_{DS}$	D	D

(Sumber : Tabel 6- SNI 1726: 2012, hal 24)

Tabel 3.4 Kategori desain seismik berdasarkan nilai  $S_{D1}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	B
$0,133 \leq S_{D1} < 0,2$	C	C
$0,2 \leq S_{D1}$	D	D

(Sumber : Tabel 6- SNI 1726: 2012, hal 24)

### 3.1.6. Struktur Penahan Gaya Seismik

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel 9 SNI 1726: 2012, hal 34-37.

### 3.1.7. Faktor Keutamaan

Dalam perencanaan gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor pengali berdasarkan kategori resiko gedung untuk menyesuaikan periode ulang gempa. Berikut ini merupakan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.1.2.

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : Tabel 2-SNI 1726:2012, hal 15)

### 3.1.8. Desain Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 6.4 bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.1 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad \dots (3-1)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ ;

3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots (3-2)$$

Keterangan:

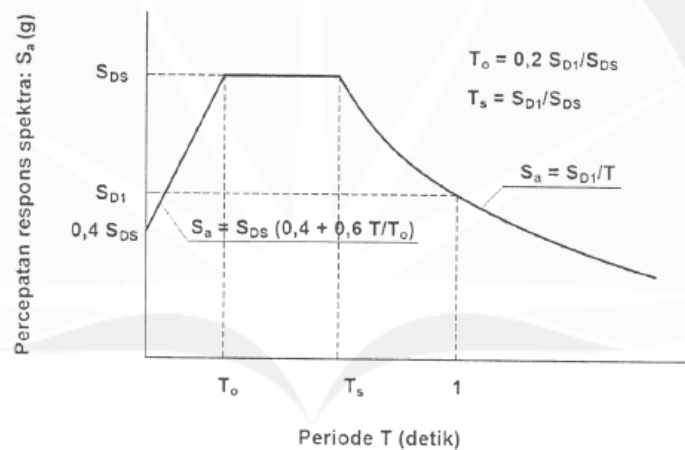
$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek;

$S_{D1}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  = Perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 3.1 Spektrum Respon Percepatan  
(Sumber : Arfiadi dan Satyarno, 2013)

Berdasarkan pasal 6.3 parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad \dots (3-3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad \dots (3-4)$$

Jika digunakan prosedur desain yang disederhanakan sesuai pasal 8, maka nilai  $S_{DS}$  harus ditentukan sesuai 8.8.1 dan nilai  $S_{D1}$  tidak perlu ditentukan.

Berdasarkan pasal 6.2 untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda pendek 0,2 detik ( $F_a$ ) dan pada perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan pada perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a S_s \quad \dots (3-5)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad \dots (3-6)$$

Keterangan :

$S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda pendek.

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa MCER terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

### 3.1.9. Periode Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

1. Periode Fundamental Pendekatan minimum ( $T$  minimum)

$$T_{a \text{ min}} = C_t h_n^x \quad \dots (3-7)$$

Keterangan :

$T_a$  = nilai batas bawah periode bangunan

$h_n$  adalah ketinggian struktur dalam (m) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel dibawah ini :



Tabel 3.6 Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa.		0,8
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

(Sumber : Tabel 15-SNI 1726:2012, hal 56)

2. Periode Fundamental Pendekatan Maksimum ( $T$  maksimum)

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \quad \dots (3-8)$$

Tabel 3.7 Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(Sumber : Tabel 14-SNI 1726:2012, hal 56)

Syarat nilai  $T$  yang akan digunakan sebagai periode fundamental sebagai berikut :

- $T_{\text{computer}} > T_a \text{ maksimum}$ , maka digunakan  $T_a \text{ maksimum}$ .
- $T_a \text{ minimum} < T_{\text{computer}} < T_a \text{ maksimum}$ , maka digunakan  $T_{\text{computer}}$ .
- $T_{\text{computer}} < T_a \text{ minimum}$ , maka digunakan  $T_a \text{ minimum}$ .

**3.1.10. Partisipasi Massa**

Berdasarkan pasal 7.9.1 analisis spektrum respons ragam harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan

jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horisontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

### 3.1.11. Gaya Geser Gempa (*Base Shear Seismic*)

Berdasarkan pasal 7.8.1 gaya geser seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad \dots (3-9)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.1. 1 SNI 1726:2012

$W$  = berat seismik efektif menurut pasal 7.7.2. SNI 1726:2012 hal 52

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sebagai berikut :

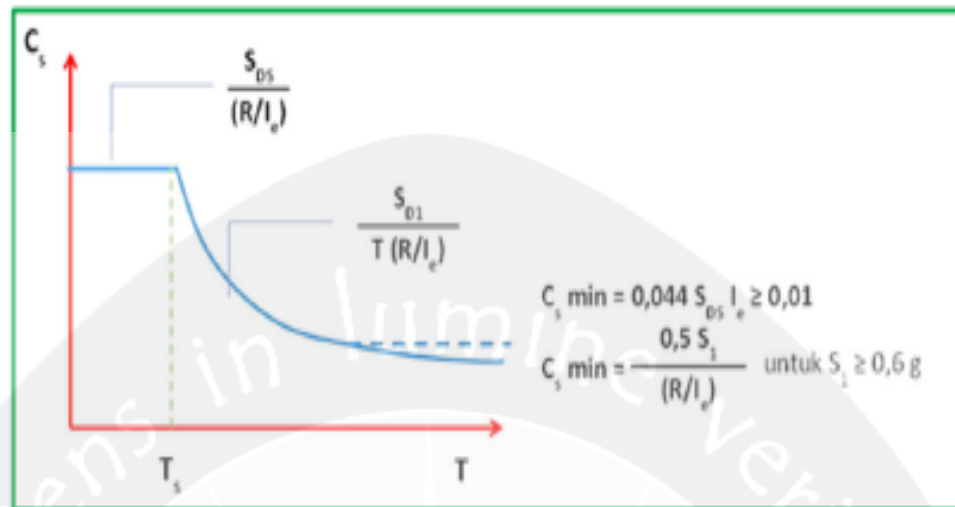
$$1. \quad C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-10)$$

$$2. \quad C_s \text{ hitungan} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-11)$$

$$3. \quad C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad \dots (3-12)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s \text{ minimum} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad \dots (3-13)$$



Gambar 3.2. Grafik respons seismik

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

$S_{D1}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode sebesar 1,0 detik

$R$  = faktor modifikasi respons dalam tabel 9 SNI 1726:2012 hal 37

$I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 3.5

$T$  = periode fundamental struktur (detik)

$S_1$  = parameter percepatan spektrum respons maksimum

Berdasarkan pasal 7.9.4.1 bila periode fundamental yang dihitung melebihi  $C_u T_a$ , maka  $C_u T_a$  harus digunakan sebagai pengganti dari  $T$  dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan :

$$0,85 \frac{V}{V_t} \quad \dots (3-14)$$

Keterangan :

$V$  = geser dasar prosedur lateral ekuivalen

$V_t$  = geser dasar dari kombinasi yang disyaratkan

### 3.1.12. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

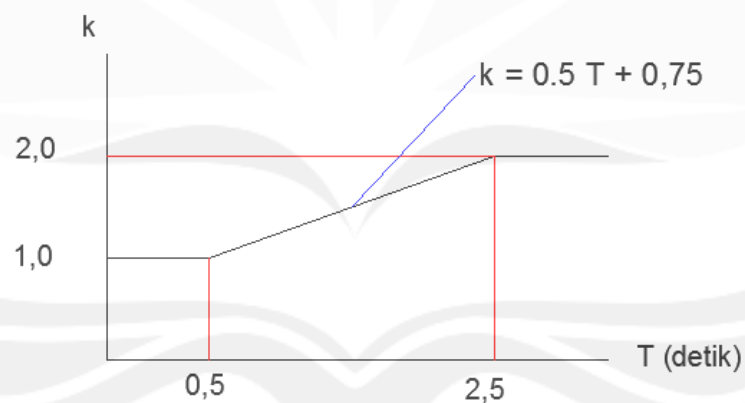
Berdasarkan SNI 1726:2012, gaya gempa lateral, ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} V \quad \dots (3-15)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad \dots (3-16)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal  
 $V$  = gaya dasar seismik atau geser di dasar struktur  
 $w_i$  dan  $w_x$  = bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$   
 $h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ , dinyatakan dalam meter  
 $k$  = eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut :



Gambar 3.3. Grafik nilai eksponen ( $k$ )

1. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$
2. Untuk struktur yang memiliki perioda 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$
3. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 sampai 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

### 3.1.13. Distribusi Horisontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat,  $V_x$  (kN) harus ditentukan

dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad \dots (3-17)$$

Keterangan :

$F_i$  adalah bagian dari geser seismik  $V$  yang timbul di tingkat ke- $i$ , dinyatakan dalam kilo newton (kN).

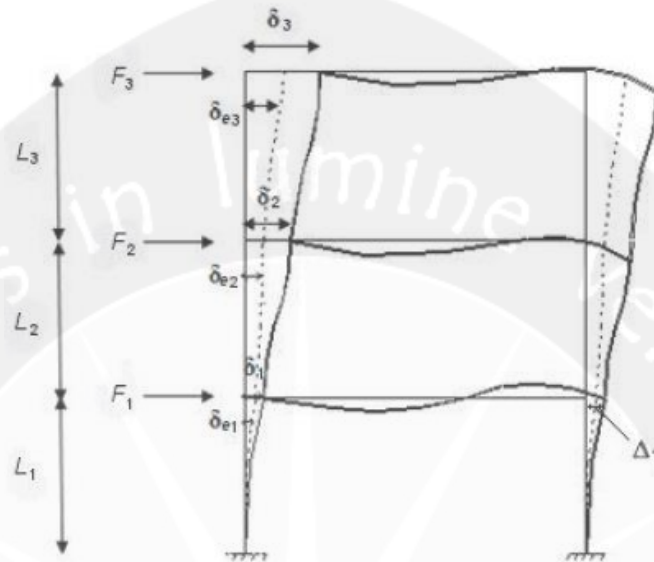
### 3.1.14. Simpangan Antarlantai dan P-delta

Berdasarkan pasal 7.8.6. penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat masa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat masa tingkat di atasnya. Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakteraturan horisontal, simpangan antar lantai desain harus dihitung sebagai selisih dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Berdasarkan pasal 7.12.1.1 untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi  $\frac{\Delta_a}{\rho}$

untuk semua tingkat.

Berdasarkan 7.3.4.2. untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3.



Gambar 3.4 Penentuan simpangan antar lantai  
(Sumber : SNI 1726:2012)

Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta x$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$\delta_e = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad \dots (3-18)$$

Keterangan :

- $F_i$  = gaya gempa desain tingkat kekakuan
- $C_d$  = faktor amplifikasi defleksi dalam tabel 3.7.
- $\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan dengan analisis elastis
- $I_e$  = faktor keutamaan gempa dalam tabel 3.1.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasa 17.12.1 terdapat batas simpangan antar tingkat yang diatur berdasarkan tabel dibawah ini :

Tabel 3.8 Simpangan antar lantai ijin,  $\Delta_a^{a,b}$ 

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat, atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat lantai.	0,025 $h_{sx}$ <sup>c</sup>	0,02 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,001 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata atau lainnya	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$	0,007 $h_{sx}$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_{sx}$	0,015 $h_{sx}$	0,010 $h_{sx}$

(Sumber : Tabel 16- SNI 1726:2012, halaman 66)

Keterangan :

<sup>a</sup>  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat x.

<sup>b</sup> Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momendalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1

<sup>c</sup> Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisah struktur dalam 7.12.3 tidak diabaikan.

<sup>d</sup> Struktur dimana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar fondasinya yang dikontruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Berdasarkan pasal 7.8.7 pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad \dots (3-19)$$

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi  $\theta$  maksimum yang ditentukan sebagai berikut :

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta \times C_d} \leq 0,25 \quad \dots (3-20)$$

Keterangan :

- $P_x$  = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat x, bila menghitung  $P_x$ , faktor beban individu tidak perlu melebihi 1,0; (kN)  
 $\Delta$  = simpangan antar lantai tingkat desain (mm)  
 $I_e$  = faktor keutamaan gempa  
 $V_x$  = gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x-1 (kN)  
 $h_{sx}$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x (mm)  
 $\beta$  = rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan x-1. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

### 3.2. Pembebanan

Dalam merancang elemen struktur bangunan gedung harus diperhatikan kekuatan masing-masing komponen strukturnya. Kekuatan desain di semua penampang elemen struktur paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012.

#### 3.2.1. Kuat Perlu

Kuat perlu (U) didapatkan dari hasil perhitungan berdasarkan kombinasi-kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 4.2.2. Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 4.2.2 sebagai berikut :

$$1. \quad 1,4D \quad \dots (3-21)$$

$$2. \quad 1,2D + 1,6L \quad \dots (3-22)$$

$$3. \quad (1,2+0,2S_{DS})D + 1,0L + 1,3E_x + 0,39E_y \quad \dots (3-23)$$

$$4. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L + 1,3E_x - 0,39E_y \quad \dots (3-24)$$

$$5. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L - 1,3E_x + 0,39E_y \quad \dots (3-25)$$

$$6. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L - 1,3E_x - 0,39E_y \quad \dots (3-26)$$



$$7. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L + 0,39E_x + 1,3E_y \quad \dots (3-27)$$

$$8. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L - 0,39E_x + 1,3E_y \quad \dots (3-28)$$

$$9. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L + 0,39E_x - 1,3E_y \quad \dots (3-29)$$

$$10. \quad (1,2+0,2 S_{DS})D + 1,0L - 0,39E_x - 1,3E_y \quad \dots (3-30)$$

$$11. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D + 1,3E_x + 0,39E_y \quad \dots (3-31)$$

$$12. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D + 1,3E_x - 0,39E_y \quad \dots (3-32)$$

$$13. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D - 1,3E_x + 0,39E_y \quad \dots (3-33)$$

$$14. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D - 1,3E_x - 0,39E_y \quad \dots (3-34)$$

$$15. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D + 0,39E_x + 1,3E_y \quad \dots (3-35)$$

$$16. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D - 0,39E_x + 1,3E_y \quad \dots (3-36)$$

$$17. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D + 0,39E_x - 1,3E_y \quad \dots (3-37)$$

$$18. \quad (0,9+0,2 S_{DS})D - 0,39E_x - 1,3E_y \quad \dots (3-38)$$

Pengecualian : faktor beban untuk L pada kombinasi 3 sampai 10 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruang garasi, ruang pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar daripada 500 kg/m<sup>2</sup>

Keterangan :

U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

E/W = beban gempa / beban angin

Dalam perencanaan kombinasi beban di atas, pengaruh beban gempa, *E*, harus ditentukan sebagai berikut :

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 harus ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E = E_h + E_v \quad \dots (3-39)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$E = E_h - E_v \quad \dots (3-40)$$

Pengaruh beban gempa horisontal ( $E_h$ ) dan vertikal ( $E_v$ ), harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$E_h = \rho \cdot Q_E \quad \dots (3-41)$$

$$E_v = 0,2 \cdot S_{DS} \cdot D \quad \dots (3-42)$$

Keterangan :

- E = pengaruh beban gempa
- $E_h$  = pengaruh beban gempa horisontal
- $E_v$  = pengaruh beban gempa vertikal
- $Q_E$  = pengaruh gaya gempa horisontal dari V atau  $F_p$
- $\rho$  = faktor redundansi

Berdasarkan pasal 7.3.4 faktor redundansi  $\rho$  harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur. Untuk struktur yang dirancang dengan kategori seismik D, E, atau F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dua kondisi tersebut dipenuhi, dimana  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0 :

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai tabel 3.8.
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri paling sedikit dua bentang perimeter penahan gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah

ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, untuk konstruksi rangka ringan.

Tabel 3.9 Persyaratan untuk Masing-Masing Tingkat yang Menahan Lebih dari 35 persen Gaya Geser Dasar

Elemen penahan gaya lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan.
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat, atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan.
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33%, atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakaturan torsi yang berlebihan.
Lainnya	Tidak ada persyaratan

(Sumber : Tabel 2-SNI 1726:2012, halaman 47)

### 3.2.2. Kuat Desain

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal

dihitung sesuai dengan persyaratan dan asumsi standar ini, yang dikalikan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ). Nilai faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) didapat dari SNI 2847:2013 pasal 9.3. Berikut nilai faktor reduksi ( $\phi$ ) yang digunakan:

Tabel 3.10 Faktor Reduksi Kekuatan ( $\phi$ )

No.	Keterangan	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1.	Penampang terkendali tarik	0,90
2.	Penampang terkendali tekan : a. Komponen struktur dengan tulangan spiral b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,75 0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton (kecuali untuk daerah angkur pasca tarik dan model strat dan pengikat)	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat, daerah pertemuan (nodal), dan daerah tumpuan dalam model tersebut	0,75
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman stand kurang dari panjang. a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran $\phi$ boleh ditinggikan secara linier	0,75 0,75 sampai 0,9

### **3.3. Perencanaan Struktur Berdasarkan SNI 2847:2013**

#### **3.3.1. Perencanaan Pelat dan Tangga**

Tebat pelat minimum untuk konstruksi pelat satu arah diatur dalam pasal 9.5.2 SNI 2847:2013 tabel 9.5(a), dan untuk pelat dua arah diatur dalam pasal 9.5.3. SNI 2847:2013.

Terdapat 2 jenis pelat yaitu pelat 1 arah dan pelat 2 arah. Berikut beberapa perbedaan pelat 1 arah dan 2 arah:

##### **1. Pelat satu arah**

Struktur pelat satu arah, yaitu pelat yang didukung pada ke dua tepi yang berhadapan, sehingga lenturan yang timbul hanya dalam satu arah saja.

- a. Pelat dianggap lebar 1 m dan dapat dianggap sebagai balok dengan lebar 1 meter.
- b. Tulangan utama/pokok dipasang menerus sampai kedua tumpuan.
- c. Tulangan susut dan suhu dipasang tegak lurus tulangan utama/pokok.
- d. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja (pada umumnya tidak digunakan tulangan geser).

2. Pelat dua arah

Struktur pelat dua arah, yaitu pelat didukung pada ke empat tepinya sedemikian rupa, sehingga lenturan yang timbul dalam dua arah.

- a. Arah sisi pendek diberi notasi  $L_x$  dan arah panjang diberi notasi  $L_y$
- b. Tulangan utama/pokok dipasang pada arah  $L_x$  maupun arah  $L_y$ , masing-masing menerus sampai ke tumpuan.
- c. Gaya geser terfaktor didukung kuat betonnya saja (pada umumnya tidak digunakan tulangan geser).
- d. Untuk pelat dua arah hitungan dapat disederhanakan sebagai berikut:

- Bila  $\frac{L_x}{L_y} \leq 2$ , menggunakan tabel Vis dan Sagel

- Bila  $\frac{L_x}{L_y} \geq 2$ , terdapat 2 macam jenis hitungan, yaitu :

- a) Sebagai struktur pelat 2 arah menggunakan tabel
- b) Dianggap sebagai struktur pelat satu arah dengan lendutan utama pada arah sisi yang pendek

### 3.3.1.1. Pembebanan Plat Lantai dan Tangga

Dalam perencanaan pembebanan pelat dan tangga, yang dimasukan adalah beban hidup dan beban mati. Beban untuk pelat mengacu pada PPURG 1987. Koefisien kombinasi yang digunakan yaitu 1,2 untuk beban mati dan 1,6 untuk beban hidup.

Berdasarkan PPURG 1987 beban hidup dan mati yang di tanggung oleh hotel berdasarkan fungsinya adalah :

a. Beban hidup :

1. Lantai hotel =  $250 \text{ kg/m}^2$
2. Lantai parkir =  $800 \text{ kg/m}^2$

b. Beban mati :

1. Beton bertulang =  $2400 \text{ kg/m}^3$
2. Adukan semen dan pasir =  $2100 \text{ kg/m}^3$
3. Pasir =  $1600 \text{ kg/m}^3$
4. Plafont dan penggantung =  $180 \text{ kg/m}^3$
5. Mekanikal dan elektrik =  $150 \text{ kg/m}^3$

### 3.3.1.2. Pelat satu arah

Konstruksi pelat merupakan elemen struktur bangunan yang secara langsung memikul beban hidup dan mati. Berikut langkah perencanaan pelat :

1. Panjang bentang

- a. Komponen struktur tidak menyatu dengan struktur pendukung, panjang bentang = bentang bersih + tinggi komponen struktur, dengan nilai maksimum jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung.

- b. Dalam analisis untuk menentukan momen pada rangka atau struktur menerus, panjang bentang diambil jarak pusat ke pusat komponen struktur pendukung.
  - c. Pelat yang bentang bersihnya tidak lebih dari 3 dan menyatu dengan struktur pendukung, dapat dianalisis sebagai pelat menerus di atas banyak tumpuan dengan jarak sebesar bentang bersih pelat.
2. Tinggi minimum pelat

Tinggi minimum pelat dapat dihitung berdasarkan pasal 9.5.2.2 SNI 2847:2013

Tabel 3.11 Tebal Minimum Pelat Satu Arah bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen Struktur	Tebal minimum h			
	terdukung sederhana	satu ujung menerus	kedua ujung menerus	kantilever
	Komponen struktur tidak mendukung atau tidak dihubungkan dengan partisi lain atau konstruksi lainnya yg mungkin rusak oleh lendutan yg besar			
pelat masif satu arah	$\ell/20$	$\ell/24$	$\ell/28$	$\ell/10$
balok atau pelat rusuk satu arah	$\ell/16$	$\ell/18,5$	$\ell/21$	$\ell/8$

(Sumber : Tabel 9.5(a) – SNI 2847:2013, hal 70)

catatan:

1. Panjang bentang ( $\ell$ ) dalam mm.
2. Nilai dalam tabel harus digunakan langsung untuk beton normal dan tulangan  $f_y = 420$  MPa.
3. Untuk nilai  $f_y$  selain 420 MPa, nilai dalam tabel dikalikan dengan faktor

$$\left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right)$$

### 3. Tulangan utama/pokok dan suhu

Penulangan pada pelat satu arah harus dipasang dengan aturan sebagai berikut :

- a. Tulangan lenturnya (tulangan utama) hanya terpasang dalam satu arah saja.
- b. Tulangan susut dan suhu yang arahnya tegak lurus tulangan lenturnya.
- c. Berdasarkan pasal 7.12.2.1 SNI 2847:2013, rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton merupakan syarat luas tulangan susut dan suhu dan tulangan utama minimum. Syarat rasio tulangan:

- Tulangan  $f_y = 280$  Mpa atau 350 Mpa,  $A_{s,min} = 0,0020 bh$
- Tulangan  $f_y = 420$  Mpa,  $A_{s,min} = 0,0018 bh$
- Tulangan  $f_y > 420$  Mpa,  $A_{s,min} = 0,0018 \left( \frac{420}{f_y} \right) bh \geq 0,0014 bh$

- d. Syarat spasi tulangan utama maupun tulangan susut dan suhu sebagai berikut:

- 1) Tulangan utama/pokok, spasi dipilih nilai yang paling kecil dari syarat sbb:

- $s \leq 3h$  ( $h$  = tebal pelat)
- $s \leq 450$  mm
- $s_s \leq 380 \times \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c$
- $s \leq 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$



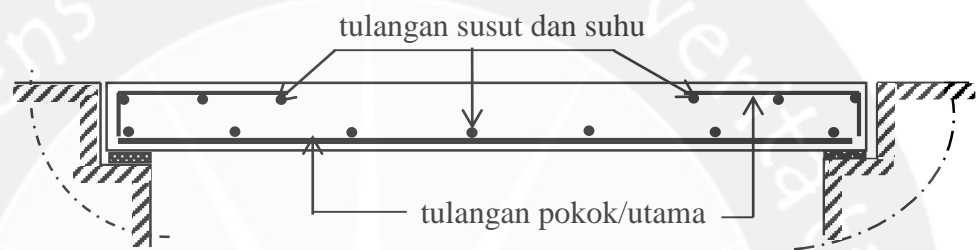
$$\text{catatan} = f_s = \frac{2}{3} f_y$$

- 2) Tulangan susut dan suhu, spasi dipilih nilai yang terkecil dari

syarat sbb:

$$s \leq 5h \text{ (h = tebal pelat)}$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$



Gambar 3.5 - Penulangan Pelat Lantai



Gambar 3.6 - Detail Penulangan Pelat Lantai

### 3.3.1.3. Pelat Dua Arah

1. Penggunaan tabel harus memenuhi syarat
  - a. Beban terbagi rata.
  - b. Perbedaan beban pada pelat yang sama :  $W_{u,\min} \geq 0,4W_{u,\max}$
  - c. Perbedaan beban pada panel yang berbeda :  $W_{u,\min} \geq 0,8W_{u,\max}$
  - d. Perbedaan panjang bentang :

Bentang terpendek  $\geq 0,8$  bentang terpanjang

- e. Mengikuti ketentuan  $l_x$  = sisi pendek dan  $l_y$  = sisi panjang
- f. Tebal pelat dua arah  $\geq 25$  mm

## 2. Momen-momen

Tabel 3.9 menunjukkan momen yang terjadi pada jalur selebar 1(satu) meter di masing-masing arah-x dan arah-y. Digunakan tabel momen pelat 2 arah W.C.Vis dan Gideon Kusuma.

$m_{lx}$  = momen lapangan maksimum per meter lebar di arah-x

$m_{ly}$  = momen lapangan maksimum per meter lebar di arah-y

$m_{tx}$  = momen tumpuan maksimum per meter lebar di arah-x

$m_{ty}$  = momen tumpuan maksimum per meter lebar di arah-y

$m_{tix}$  = momen jepit tak terduga per meter lebar di arah-x

$m_{tiy}$  = momen jepit tak terduga per meter lebar di arah-y

## 3. Syarat luas tulangan minimal yang diperlukan untuk pelat dua arah

Tulangan  $f_y = 280$  Mpa atau  $350$  Mpa,  $A_{s,min} = 0,0020$  bh

Tulangan  $f_y = 420$  Mpa,  $A_{s,min} = 0,0018$  bh

Tulangan  $f_y > 420$  Mpa,  $A_{s,min} = 0,0018 \times \left( \frac{420}{f_y} \right) \times b \times h \geq 0,0014$  bh

### 3.3.2. Perencanaan Balok

#### 3.3.2.1. Syarat Perencanaan Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5 yang mensyaratkan bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi hal-hal berikut :

1. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur,  $P_u$  tidak boleh melebihi  $A_g f'_c/10$ .
2. Bentang bersih komponen struktur,  $l_n$  tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
3. Lebar komponen,  $b_w$  tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0,3h$  dan  $250 \text{ mm}$ .
4. Lebar komponen struktur,  $b_w$ , tidak boleh melebihi lebar komponen struktur penumpu,  $c_2$ , ditambah suatu jarak pada masing-masing sisi komponen struktur penumpu yang sama dengan yang lebih kecil dari (a) dan (b) :
  - a. Lebar komponen struktur penumpu,  $c_2$ , dan
  - b.  $0,75$  kali dimensi keseluruhan komponen struktur penumpu,  $c_1$ .

### 3.3.2.2. Prosedur Perancangan Balok

Dalam merancang balok perlu diperhatikan dengan baik langkah-langkah pengerjaannya. Dibawah ini merupakan prosedur perancangan balok :

1. Menentukan  $f'_c$  dan  $f_y$  tulangan baja yang akan digunakan.
2. Nilai  $\rho \approx 0,01$  (Mac Gregor, 2005)

3. Menghitung nilai  $R_n = \rho \times f_y \left( 1 - 0,59 \frac{\rho \times f_y}{f'_c} \right)$

4. Menghitung momen akibat beban terfaktor,  $M_u$

Ditaksir momen akibat berat sendiri balok 10% sd 20% momen beban total

5. Menentukan kombinasi kombinasi  $b_w$  dan  $d$  dari persamaan di bawah ini :

$$b_w d^2 = \frac{M_u}{0,9 \times R_n} \text{ atau } d = \sqrt{\frac{M_u}{0,9 \times R_n \times b_w}}$$

6. Menentukan nilai  $h$  (dibulatkan ke atas kelipatan 50 mm) dengan memperhatikan:
- Tinggi balok minimum yang disyaratkan agar lendutan tidak perlu diperiksa,
  - bila  $h_{\text{aktual}} < h_{\text{min}}$  balok, lendutan perlu diperiksa
  - $b_w$ , aktual dan  $h_{\text{aktual}}$  (dibulatkan kelipatan 50 mm),  $d_{\text{aktual}}$  tidak perlu bulat.  
(Pasal 21.5.1.3 SNI 2847:2013)

7. Menghitung kembali  $M_u$  dengan memasukan berat sendiri balok, diperoleh  $M_{u,\text{baru}}$

8. Menentukan tulangan tarik

$$c. \quad R_n, \text{ perlu} = \frac{M_{u,\text{baru}}}{0,9 \times b_w \times d^2}$$

$$d. \quad \rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 f'_c}} \right)$$

$$\text{dan } \rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \text{ atau } \rho_{\text{min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,429 \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \beta_1$$

$$\text{Luas tulangan yang diperlukan, } A_{s,\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} b_w d^2$$

- Jumlah tulangan =  $A_{s,\text{perlu}} / \text{luas 1 tulangan}$  (dibulatkan ke atas)
9. Memeriksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\varepsilon_t$  dan  $\phi$ :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times b_w \times f'_c} \text{ dan } c = \frac{a}{\beta_1}$$

kemudian hitung,  $\varepsilon_t = 0,003 \left( \frac{d_t - c}{c} \right) \geq 0,004$

$$\phi = 0,65 + 0,25 \left( \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_y}{0,005 - \varepsilon_y} \right)$$

10. Memeriksa, syarat  $\Phi M_n$  (momen rencana)  $\geq M_{u,baru}$  (momen terfaktor)

### 3.3.2.3. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1 pada setiap penampang komponen struktur lentur dimana tulangan tarik diperlukan berdasarkan analisis,  $A_s$  yang tersedia tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan oleh :

1. Jumlah tulangan atas maupun bawah tidak boleh kurang dari :

$$A_{smin} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$$

dan tidak kurang dari :

$$A_{smin} = \frac{1,4 b_w d}{f_y}$$

dengan rasio tulangan,  $\rho$ , tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

2. Kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint tersebut. Baik kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang sepanjang panjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum yang disediakan muka salah satu dari joint tersebut.
3. Sambungan lewatan tulangan lentur diizinkan hanya jika tulangan sengkang atau spiral disediakan sepanjang panjang sambungan. Spasi tulangan

transversal yang melingkupi batang tulangan yang disambung lewatkan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari  $\frac{d}{4}$  dan 100 mm. Sambungan lewatkan tidak boleh digunakan jika:

- a. Dalam joint;
- b. Dalam jarak dua kali tinggi komponen struktur dari muka joint; dan
- c. Bila analisis menunjukkan pelelehan lentur diakibatkan oleh perpindahan lateral inelastis rangka.

Penempatan tulangan balok memiliki syarat yaitu :

1. Jarak/spasi bersih antara tulangan sejajar dalam lapis yang sama:

spasi bersih  $\geq d_b$  (diameter tul. longitudinal)

$\geq 25 \text{ mm}$

$\geq 1,33$  ukuran maksimum nominal agregat kasar

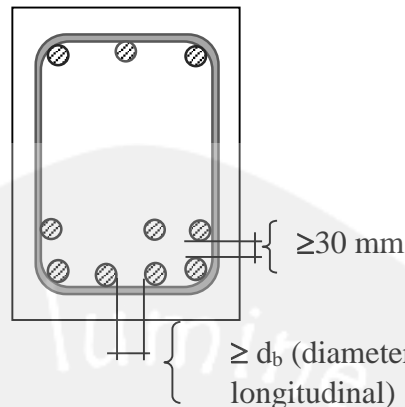
dipilih yang terbesar

2. Bila tulangan sejajar tersebut diletakkan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakkan tepat di atas tulangan di bawahnya.

spasi bersih  $\geq 25 \text{ mm}$

$\geq 1,33$  ukuran maksimum nominal agregat kasar

dipilih yang terbesar



Gambar 3.7- a. penempatan tulangan tarik 1 lapis

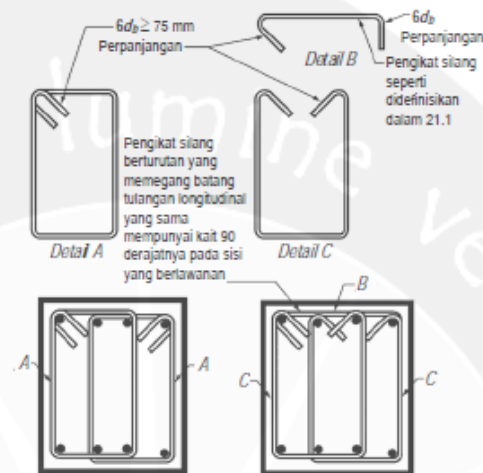
b. penempatan tulangan tarik 2 lapis

#### 3.3.2.4. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.3 syarat tulangan transversal adalah sebagai berikut :

1. Sengkang harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut :
  - a. Sepanjang suatu panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur;
  - b. Sepanjang panjang-panjang yang sama dengan dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi suatu penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari:
  - a.  $d/4$ ;

- b. Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama tidak termasuk tulangan kulit longitudinal; dan
- c. 150 mm.



Gambar 3.8 - Contoh-contoh sengkang tertutup saling tumpuk dan ilustrasi batasan pada spasi horizontal maximum batang tulangan longitudinal yang ditumpu

(Sumber : SNI 2847:2013 gambar S21.5.3)

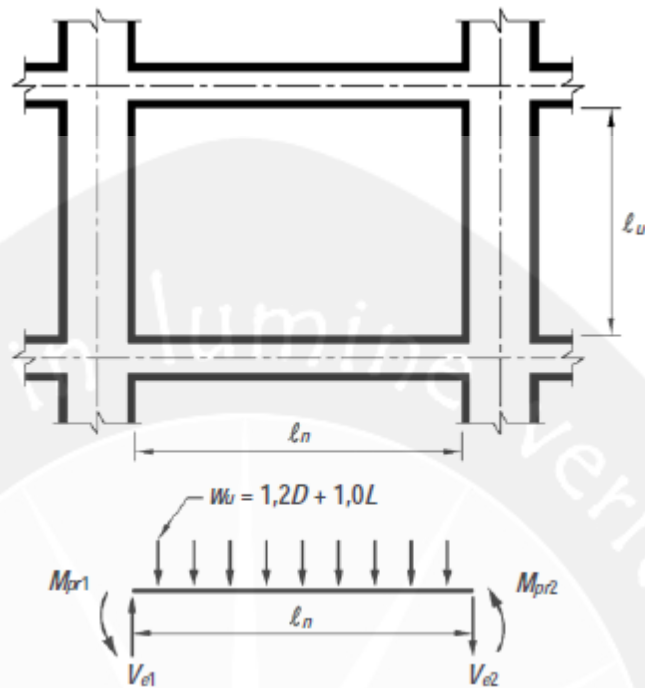
### 3.3.2.5. Kekuatan geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.4 syarat kekuatan geser sebagai berikut :

#### 1. Gaya Desain

$V_e$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka-muka joint. Harus diasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka-muka joint dan bahwa komponen struktur dibebani dengan beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentangnya.





Gambar 3.9 - Geser Desain untuk Balok  
(Sumber: SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

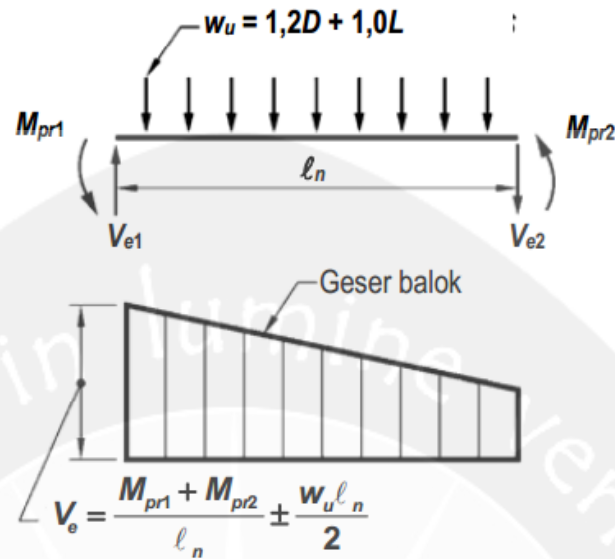
$M_{pr}$  merupakan kekuatan lentur mungkin komponen struktur, dengan atau tanpa beban aksial, yang ditentukan menggunakan properti komponen struktur pada muka joint yang mengasumsikan tegangan tarik dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , sebesar 1.0, N mm.

Nilai kuat lentur maksimum tulangan :

$$M_{pr} = A_s 1,25 f_y \left( d - 0,5 \frac{A_s \times 1,25 \times f_y}{f'_c \times b_w} \right)$$

Gaya geser gempa akibat gempa dihitung dengan persamaan :

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{w_u l_n}{2} \quad (3-29)$$



Gambar 3.10 - Gaya Geser Desain  
(Sumber : SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

## 2. Tulangan Transversal

Berdasarkan pasal 21.5.4.2. SNI 2847:2013 tulangan transversal sepanjang panjang yang didefinisikan, harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi:

- Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut.
- Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 20$

Bila nilai  $V_u$  melebihi nilai  $V_c$  maka tulangan nilai  $V_s$  harus dihitung.  $V_s$  maks berdasarkan pasal 11.4.7.9 SNI 2847:2013

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

Berdasarkan pasal 21.5.3.2. SNI 2847:2013 sengkang penutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), dan (c) :

- (a)  $d/4$
- (b) Enam kali diameter terkecil batang tulangan lentur utama
- (c) 150 mm

Berdasarkan pasal 11.2.1.1. SNI 2847:2013 untuk komponen struktur yang dikenai lentur saja nilai  $V_c$  dihitung sebagai berikut :

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

Berdasarkan pasal 21.5.3.3 SNI 2847:2013 bila sengkang tertutup tidak diperlukan, batang tulangan lentur utama yang terdekat ke muka tarik dan tekan harus mempunyai tumpuan lateral yang memenuhi pasal 7.10.5.3 atau 7.10.5.4. Sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari :  $\frac{d}{2}$

### **3.3.3. Perencanaan Kolom**

#### **3.3.3.1. Syarat Kolom**

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain untuk SRPMK menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6 :

1. Gaya tekan aksial terfaktor tidak boleh kurang dari  $\frac{A_g \times f'_c}{10}$ .
2. Dimensi penampang terpendek diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm.

3. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

### 3.3.3.2. Kelangsingan Kolom

Berdasarkan pasal 10.10.4.1 SNI 2847:2013 momen inersia untuk komponen struktur lentur :

Inersia kolom (  $I_k$  ) = 0,7  $I_g$  kolom

Inersia balok (  $I_b$  ) = 0,35  $I_g$  balok ; dipakai  $I_b = 0,7$  karena dalam analisis elemen struktur, balok dimodelkan sebagai balok dengan penampang persegi.

Pasal 10.10.5.2. SNI 2847:2013 menyatakan bahwa pengaruh struktur boleh dianggap tidak bergoyang bila :

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_{us} I_c} \leq 0,05$$

Pasal 10.10.1.2. radius girasi,  $r$ , boleh diambil sama dengan 0,3 kali dimensi keseluruhan dalam arah stabilitas yang ditinjau untuk komponen struktur tekan persegi.

Berdasarkan pasal 10.10.1 SNI 2847:2013 pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasus berikut :

- a. untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 22$$

- b. untuk komponen struktur tekan yang di-breising terhadap goyangan menyamping:

$$\frac{k \times l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40$$

Dimana  $\frac{M_1}{M_2}$  adalah positif jika kolom dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur ganda. Diizinkan untuk memperhitungkan komponen struktur tekan yang di breising (braced) terhadap goyangan menyamping bila elemen breising (bracing) mempunyai kekuatan total, pergerakan lateral tahanan dari tingkat tersebut, sebesar paling sedikit 12 kali kekakuan bruto kolom dalam suatu tingkat.

#### 3.3.3.3. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan pasal 21.6.3.1. SNI 2847:2013 luas tulangan memanjang  $A_{st}$ , tidak boleh kurang dari  $0,01 A_g$  atau lebih dari  $0,06 A_g$ .

Berdasarkan pasal 21.6.3.2. SNI 2847:2013 pada kolom dengan sengkang tertutup bulat, jumlah batang tulangan longitudinal minimum 6.

#### 3.3.3.4. Tulangan Transversal

Tulangan transversal terbagi 2 yaitu sengkang pengengkang dan sengkang untuk beban geser.

##### 1. Pengekangan Kolom

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.1. tulangan transversal harus dipasang sepanjang panjang  $\ell_0$  dari muka *joint* dan pada kedua sisi sebarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang  $\ell_0$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari a, b, dan c:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka joint atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi;
- b. Seperenam bentang bersih komponen stuktur; dan
- c. 450 mm.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.3. spasi tulangan transversal sepanjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil, berikut ketentuannya:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum;
- b. Enam kali diameter batang tulangan longitudinal yang terkecil; dan
- c.  $S_o$ , seperti didefinisikan pada pers. Berikut:

$$S_o = 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

Nilai  $S_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm.



Gambar 3.11. Contoh tulangan transversal pada kolom  
(Sumber : SNI 2847:2013 Gambar S21.6.4.2)

Jumlah tulangan transversal yang disyaratkan dalam (a) atau (b) harus disediakan kecuali bila jumlah yang lebih besar disyaratkan pada SNI 2847, pasal 21.6.5.

- Rasio tulangan spiral atau sengkang bulat,  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right)$$

dan tidak boleh kurang dari persamaan berikut:

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

- Luas penampang total tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$ , tidak boleh kurang dari yang disyaratkan sebagai berikut:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s_{bc}}{f_{yt}} \left[ \left( \frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$A_{sh} = 0,09 \frac{s_{bc} f'_c}{f_{yt}}$$

## 2. Penulangan Transversal untuk Beban Geser

Dalam pasal 21.5.4.2. SNI 2847:2013 dikatakan bahwa tulangan transversal sepanjang panjang yang diidentifikasi dalam 21.5.3.1 harus diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ , bilamana keduanya (a) dan (b) terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa, yang dihitung sesuai dengan 21.6.5.1, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $\ell_0$ ;
- b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$ , termasuk pengaruh gempa kurang dari  $A_g f'_c / 10$ .

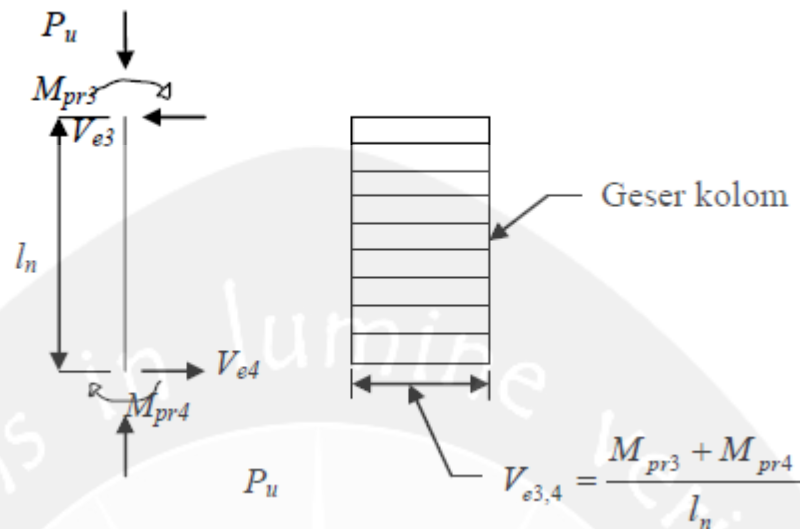
Jika harus dihitung, maka nilai  $V_c$  berdasarkan pasal 11.2.1.2 SNI 2847: 2013 yaitu:

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

Besarnya  $N_u / A_g$  harus dinyatakan dalam MPa.

Berdasarkan pasal 8.6.1 SNI 2847:2013 untuk beton normal  $\lambda = 1,0$





Gambar 3.12. Geser desain untuk kolom  
(Sumber : SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

Keterangan :

- $A_{st}$  = Luas total tulangan longitudinal non-prategang
- $A_{sh}$  = Luas penampang total tulangan transversal
- $h_x$  = Spasi horizontal kait silang atau kaki sengkang tertutup (*hoop*) pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom
- $N_u$  = Gaya aksial terfaktor tegak lurus penampang yang terjadi serentak dengan  $V_u$  atau  $T_u$ , diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik

### 3.3.3.5. Kuat Lentur

Menurut SNI 2847-2013 pasal 21.6.2.2 :

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2) \Sigma M_{nb}$$

dengan :

$\Sigma M_{nc}$  = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint yang dievaluasi di muka-muka joint. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\Sigma Mnb$  = Jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

### 3.3.3.6. Kekuatan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.6.5.1 gaya geser desain,  $V_e$  harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dihasilkan di muka-muka pertemuan-pertemuan (*joints*) di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya joint ini harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin,  $M_{pr}$  di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor,  $P_u$  yang bekerja pada komponen struktur. Dalam semua kasus  $V_e$  tidak boleh kurang dari geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

$$V_{sway} = \frac{DF_{atas} \times M_{mpr,atas} + DF_{bawah} \times M_{mpr,bawah}}{l_u}$$

DF = faktor distribusi momen bagian atas dan bawah kolom yang didesain.

## 3.4. Join Rangka Momen Khusus

### 3.4.1. Persyaratan Joint Momen Khusus

Berdasarkan SNI 284:2013 pasal 21.7 terdapat beberapa persyaratan umum untuk join rangka momen khusus yang membentuk bagian sistem penahan gaya gempa:

1. Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur  $1,25 f_y$

2. Tulangan longitudinal balok dihentikan dalam suatu kolom harus diteruskan ke muka jauh inti kolom terkekang dan diangkur dalam kondisi tarik menurut 21.7.5 dan dalam kondisi tekan menurut Pasal 12.
3. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui join balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar untuk beton normal (*normal weight*). Untuk beton ringan (*lightweight*), dimensinya tidak boleh kurang dari 26 kali diameter tulangan.

#### 4.4.1. Kekuatan Geser

Berdasarkan pasal 21.7.4.1. SNI 2847:2013  $V_n$  joint diambil sebagai yang lebih besar dari nilai di bawah ini:

- a. Untuk joint yang dikekang oleh balok-balok pada semua empat muka

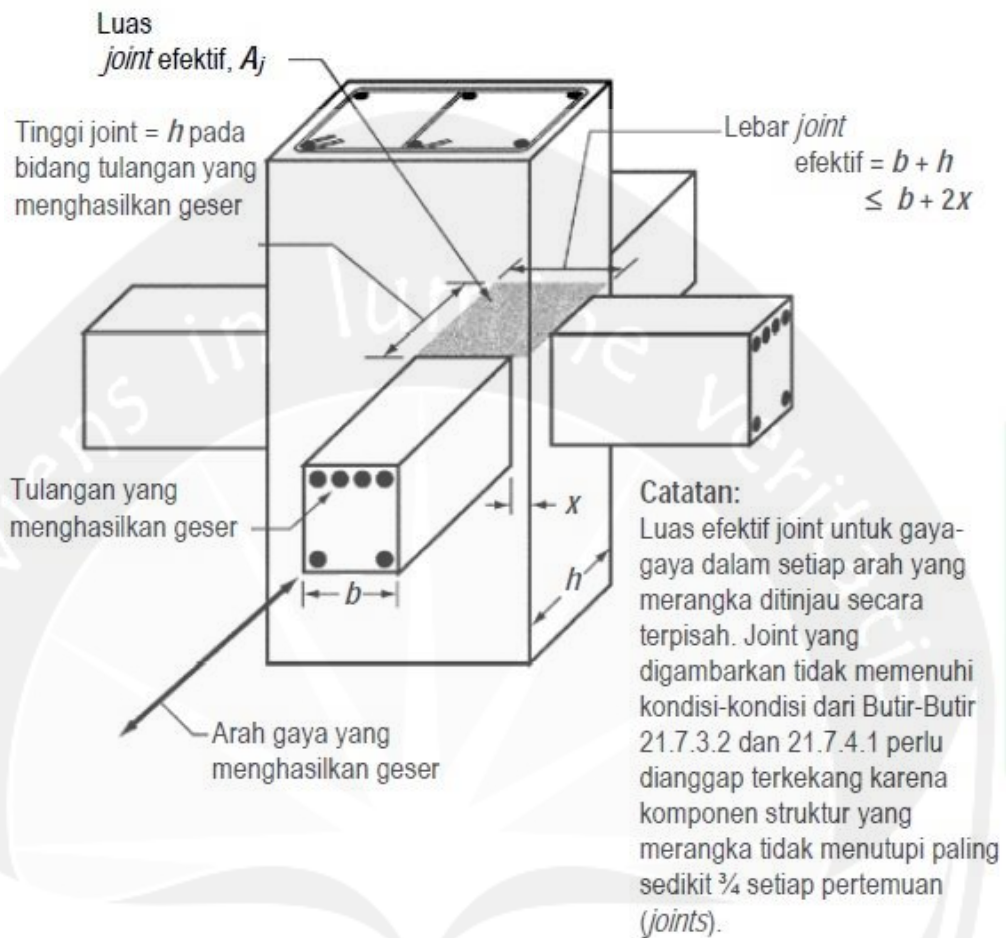
$$V_n = 1,7\sqrt{f'_c} A_j$$

- b. Untuk joint yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan,

$$V_n = 1,2\sqrt{f'_c} A_j$$

- c. Untuk kasus-kasus lainnya :

$$V_n = 1,0\sqrt{f'_c} A_j$$



Gambar 3.13 Hubungan Balok Kolom  
(Sumber : SNI 2847:2013)

Keterangan :

$V_n$  = Kekuatan geser nominal

$A_j$  adalah luas penampang efektif dalam suatu joint yang dihitung dari tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint merupakan tinggi keseluruhan kolom,  $h$ . Lebar joint efektif harus merupakan lebar keseluruhan kolom, kecuali bilamana suatu balok merangka ke dalam suatu kolom yang lebih besar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari (a) dan (b) :

- Lebar balok ditambah tinggi joint
- Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.